

첨단모빌리티 (AAM) 안전체계 구축방향

2024. 10. 29

이 대 성



Personal Air Vehicle (PAV)



모빌리티 변화

대도시 증가



대도시
인구집중



교통체증
공해 ↑



새로운 교통수단
출현 요구

사회적
비용 손실 ↑



AAM 개념 진화

PAV ⇒ ODM, MaaS 개념으로 진화 중

- 개인 소유, Door-to-Door, Ubiquitous ⇒ Service Operator, Vertiport, Fixed route

UAM : Urban Air Mobility

- Uber White Paper (2016), Uber Elevate (2018) : eVTOL, Vertiport

AAM (Advanced Air Mobility), IAM (Innovative Air Mobility)

- 도심, 도시간, 무인, 화물 배송, 군용 등 포함하는 영역으로 확장

시장형태 발전 전망

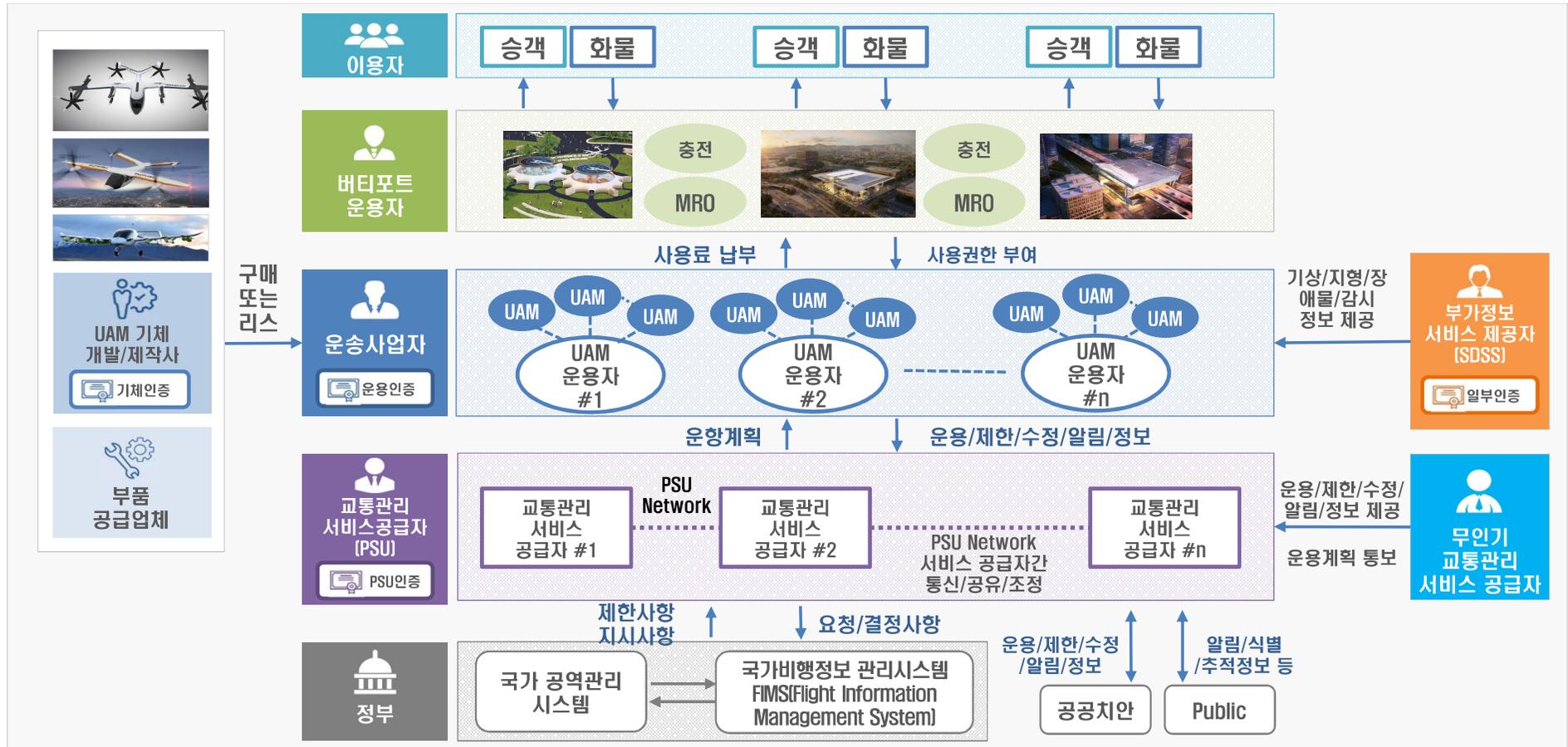
- 화물 ⇒ 유인
- 도시간 운항 ⇒ 도심 운항
- 조종사 탑승 ⇒ 자율비행 (Uncrewed : Ground Pilot ⇒ Fully Autonomous)

혁신적인 항공교통 & 항공제조산업 획기적인 발전

AAM 생태계



AAM 생태계

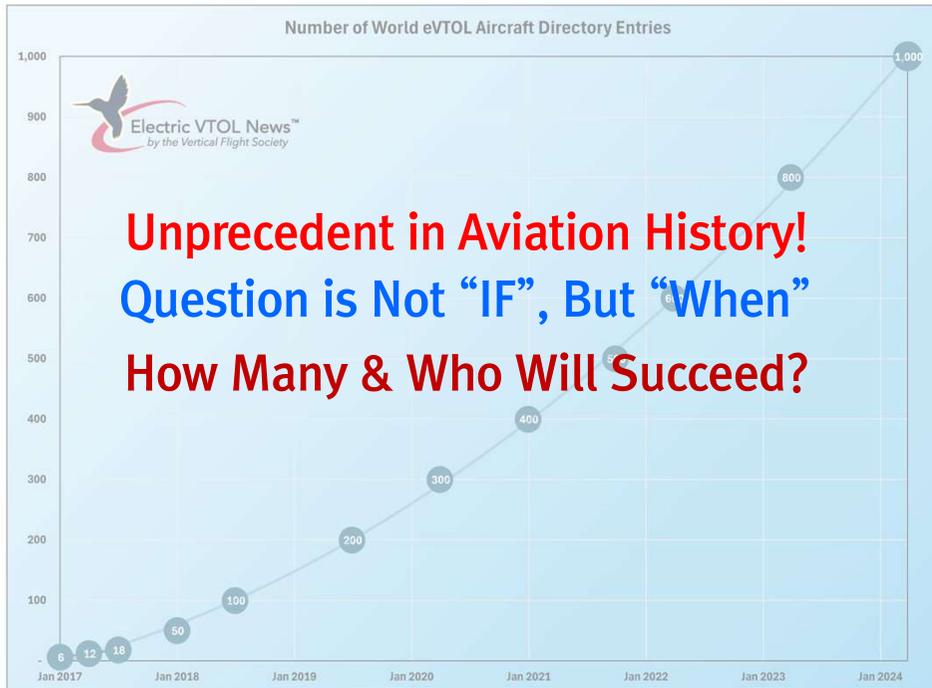


* PSU: Provider of Services for UAM
 * SDSS: Supplement Data Service Supplier

eVTOL

개발 현황

- '20 : 300 ⇒ '24 : 1,000
 - 48 Nations, 430 Entities
 - 상업용 개발모델은 200개 내외



Source : Vertical Flight Society, Electric VTOL News

Type



Source : Porsche Consulting, Vertical Mobility (2018)

AAM 기술 동향

형상

- **Multicopter 방식**
 - 인증 수월성, 낮은 개발비 및 운용비, 제한적 성능 (이륙 중량, 속도 등)으로 인한 시장성과 안전성 문제 (로터 위치)
- **Tilting, Lift & Cruise 방식 위주**
 - 우수한 성능과 높은 시장 경쟁력, 높은 개발비 과다, 인증 복잡

동력

- **All Electric (100% 배터리) 방식 위주**
 - 하이브리드 방식은 높은 이륙중량, 항속 거리의 장점으로 RAM 용으로 일부 개발
- **전력 공급 방식**
 - 충전 방식 위주 (화재 위험성, 수명 저하 문제), 일부 교체 방식 사용 (Volocopter)

조종

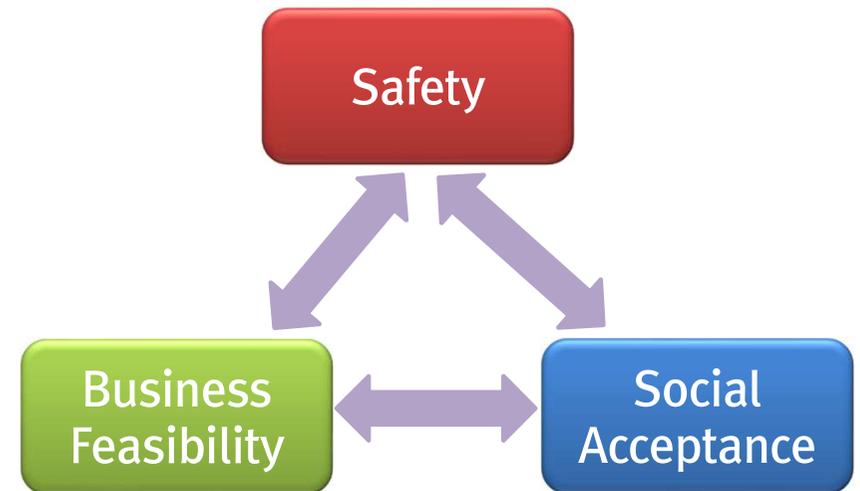
- **조종사 탑승 (Onboard Pilot) 위주**
 - 유인기 자율 비행기술 완성도 부족 및 사회 수용성으로 조종사 탑승 요구 높음
- **자율비행 (Autonomous Flight)**
 - 경제성 확보 유리, 궁극적 추진 방향, 2030년 이후 상용화 예상 (Wisk, EHang)

AAM 성공 요소

AAM Challenges (ICAO, 2024)

- Interoperability and Regulation
 - International Standards, Regulatory Harmonization
- Airspace Integration
- Multilevel Coordination
 - Cooperation across nation, region, local
- Information Sharing
 - Communication among all stakeholders
- Regulation Adequacy
- Supporting Early Movers

Regulator's Trilema



사회적 수용성 제고를 위한
안전성 & 경제성 최적화 필요

AAM 안전성

eVTOL 사고



Joby S4 Crash (2022. 2. 16)

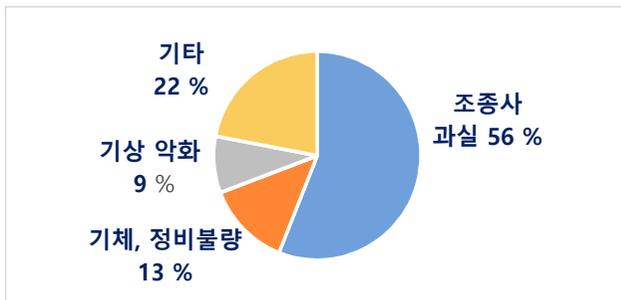


Vertical VX4 Crash (2023. 8. 9)

항공 안전

항공 안전과 사고

- 가장 안전한 교통수단
 - 낮은 사고율 : 인명 손상을, 1/2백만회
- 항공사고 특성
 - 대규모 인명 손상 및 손해의 거액성
 - 다수의 복합적 사고 잠재 요인
- 항공기 사고 원인
 - 인적 요인 : 조종 과실, 규정 미준수, 안전/비상 조치 미흡, 정비 불량
 - 기계 요인 : 기체 결함, 정비 결함
 - 환경 요인 : 악기상 조우, 시정 장애



국내 항공사고 통계 ('01 ~ '21) 출처: 국토교통부 통계누리



AAM 안전의 핵심 요소

- Certification
- Airspace Design
- Operating Rules
- Service Providers

AAM 안전성

AAM Safety

- 항공기 설계 안전도 : $10^{-7} \sim 10^{-9}$
- 미국 Fatal Accident Rate 통계 (per 100,000 flight Hours)
 - CFR Part 121 Certificate : 0.006
 - CFR Part 135 Certificate : 0.12
 - General Aviation : 1.05
- 항공기 운용 : 항공교통 안전에 가장 중요한 인자
- FAA 정책
 - AAM 운용 적용 기준 : CFR Part 135
 - AAM 안전요구도 : One fatality in 90 million hours
- AAM 운용 (Part 135 기준 가정)
 - 300대, 7시간/일 운용 가정 \Rightarrow 1 인명 사고/년
 - Joby 2035년 : 10,000대 운용 \Rightarrow 30 인명 사고/년

Acceptable?



항공기 설계 안전도

	Accidents		Fatalities		Flight Activity ^b		Accidents per 100,000 Flight Hours		Accidents per 100,000 Departures	
	All	Fatal	Total	Aboard	Flight Hours	Departures	All	Fatal	All	Fatal
	US air carriers operating under 14 CFR 121									
Scheduled	27	1	1	1	18,731,201	9,353,813	0.144	0.005	0.289	0.011
Nonscheduled	3	0	0	0	557,095	172,290	0.539	0	1.741	0
US air carriers operating under 14 CFR 135 ^c										
Commuter	2	0	0	0	421,319	644,583	0.475	0	0.310	0
On-Demand	41	6	12	12	3,842,566	-	1.067	0.156	-	-
US general aviation	1,275	225	381	378	21,663,367	-	5.876	1.029	-	-
US civil aviation ^d	1,347	231	393	391						
Other accidents in the United States										
Foreign registered aircraft	12	4	10	10						
Unregistered aircraft	5	0	0	0						

US Civil Aviation Accident Rate in 2018 (NTSB)

AAM 안전성

AAM 안전 요소

- **AAM 운용 환경**
 - 도심 운용 : 승객 & 지상 구조물 및 인명 안전성
 - 도심 기상 : 강우, 안개, 건물풍, 돌풍
 - 낮은 고도 : 비상 대응 시간 축소, 조류 충돌
 - 높은 운용 주기 : LCF, 경량 구조 강건성 (30회 이착륙/일 ⇒ 10,000 cycle/년)
- **분산전기추진 (Distributed Electric Propulsion)**
 - 분산 추진 : 비행제어 안전성
 - 배터리 & 연료전지 안전성, 신뢰도, 열폭주, 코로나 방전
- **가변 형상 (Tilting VTOL)**
 - 복잡한 공력 현상에 대한 안전성
 - 가변 형상 항공기의 민수 인증과 운항 허가 사례 없음
- **자율 비행 기술**
 - AAM 확장성의 핵심 요소
 - 신뢰성 중요

AAM 안전성 제고 방안

- **UATM, 충돌 방지 기술**
 - ACAS/TCAS (충돌방지 장치)
 - ADS-B
 - Sense and Navigate (SAN) 기술
- **내추락성 향상**
 - Parachute
 - Air Bag
- **기타 안전성, 신뢰도 향상**
 - Power/Thermal Management
 - 기상 레이더/고밀도 기상정보 실시간 공유
 - 조류 충돌 경고 및 억제 장치
 - Fly-By-Wire system (Triple Redundancy)
- **저 비용 안전성 향상 기술 개발 필수**
 - 비용 증가로 인한 경제성 악화 방지 방안

AAM 경제성

AAM 비용 요소

- 기술 개발
 - 효율 증대, 소음 저감, 배터리 성능 및 관리, 양산 기술, 관제
- 항공기 체계 개발 (\$0.5~1B 예상)
 - 안전성 확보
 - 인증 비용
- 양산 인프라
 - Scaled 생산을 위한 양산 설비 구축 (100~600대/연 수준)
 - Supply Chain 구축
 - MRO 시스템 구축
- 공공 인프라 구축 및 운용
 - Vertiport 구축
 - 관제 시스템 (UATM), 통신망 (5G, 6G 상공망) 구축
 - 인프라 운용 비용

AAM 경제성 제고 고려사항

- 기존 지상 교통체계 상대 경쟁력 확보
 - 택시의 2~3배 수준 이용료 목표 (\$3/seat-mile)
- 기술 개발
 - 기술 개발 (배터리, 인공지능) 속도와 항공기 Life cycle
- 개발/생산과 운용 방식
 - 생산과 운용 통합 (Joby 등) vs. 분리
 - 하이브리드 방식
- 양산 방식
 - 자체 생산 (In-house manufacturing)
 - Just-In-Time 방식 vs. Stockpile 방식
 - 자동차 산업체와 협력
- 공통 부품/사양 지향
 - Universal 배터리 충전 시스템 등

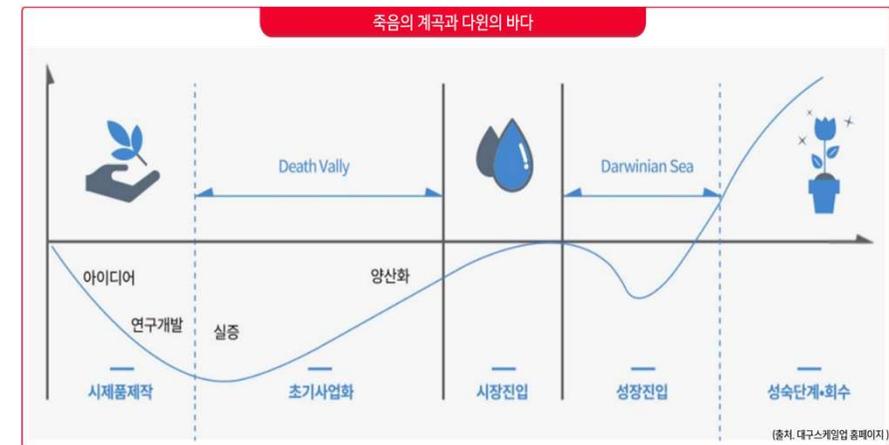
AAM 경제성

지속가능한 AAM 비즈니스 모델

- 장기적인 비즈니스 플랜 수립**
 - 기존 지상 모빌리티와의 경쟁력 (안전성 및 경제성) 확보
 - 2035년 이후 수익창출 예상
 - 죽음의 계곡을 생존하기 위한 전략 필요
- AAM 생태계 Stake Holder별로 세분화된 비즈니스 플랜 수립**
 - 개발, 양산 산업체, Supply Chain
 - 운용 산업체
 - 지원 산업체 (인프라, MRO, 인력 양성, 보험 등)
- 산업체 투자 지원방안 수립**
 - Startup, 대기업 대상 특화된 프로그램 필요
 - SPAC, 정부, 지자체 역할 증대
- 공공 인프라 투자 방안 수립**
 - 버티포트, 관제시스템 등
 - 초기 소규모 운용 성장기 정부 지원 타당성 논리 개발

	Taxi	Air Taxi
Fare (/seat/mile) *	\$1~3	\$6
Vehicle	~\$0.1M	\$2M~
Battery Life	7 year	0.5 year?
Driver/Pilot	\$40K	\$80K

* 여의도 ⇒ 인천공항 (50km) : Taxi 7만원, Air taxi 24~75만원



**AAM 시장 성숙기 ('35~'40)까지
생태계 지속 성장 정책 필수**

AAM 사회적 수용성

AAM 사회적 수용성 요소

- 안전성
 - Crewed or Uncrewed
 - Security
- 경제성
 - 이용 요금 경쟁력
 - 공공 인프라 운용비
- 공공성
 - Equity
- 환경
 - 저 소음, 저 공해
 - 시각적 공해
- 편의성
 - Connectivity
 - 안락성

*Why and how AAM
development align with
societal values, community
needs, sustainable solutions*

...

*How will AAM help make
peoples lives better*

항공기 인증

항공기 인증

- 항공기 항행 안전성 확보 위해 설계·생산·운용 모든 과정에서 안전요건 (감항[堪航]기준) 적합성 기술적 판단에 따른 승인, 허가, 제한, 금지 등의 법적 처분 제도 (항공안전법, 항공사업법, 항공보안법, 공항시설법)



항공 서비스 전수명주기 (Lifecycle) 동안 인증 동반

“항공인증은 수많은 경험과 시행착오의 산물이며 항공안전을 위한 최소한의 장치!!”

AAM 인증

해외 AAM 항공기 인증 정책 방향

미국 AAM 인증 전략

- Powered-Lift 항공기로 분류
- 감항기준 : 대표 감항기준 없이, 항공기별 인증기준 지정하는 21.17(b) 절차 적용
- 항공기 안전도 : $10^{-7} \sim 10^{-9}$

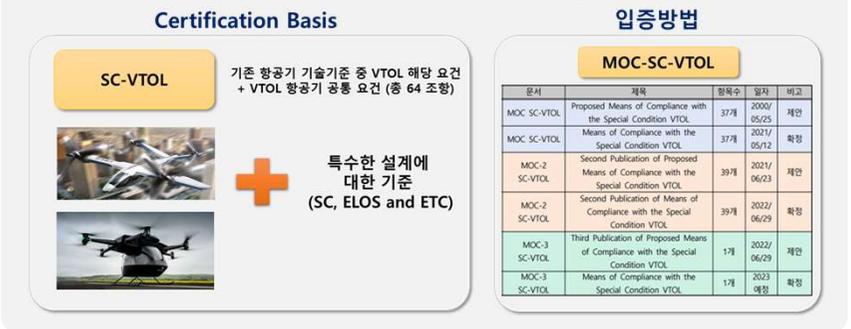
21.17(b) (기타 분류, Special Class) 적용



EU EASA 인증 전략

- VTOL Capable Aircraft (VCA)로 분류
- 감항기준 : 신규 분류에 부합하는 대표 감항기준 기반 (임시, SC-VTOL 등) 인증 진행
- 항공기 안전도 : 10^{-9}

- 기체에 대한 대표 기준 (임시, SC-VTOL, '19.6) 적용
- 전기 추진시스템에 대한 대표 기준 (임시, SC-E-19, '20.1) 입증방법

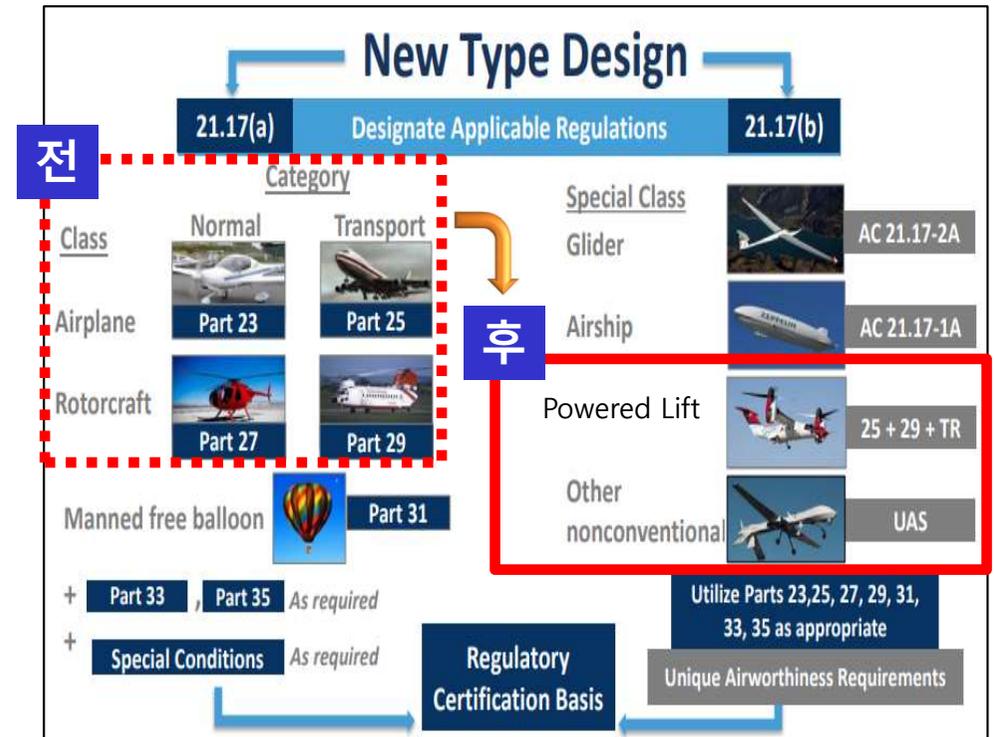
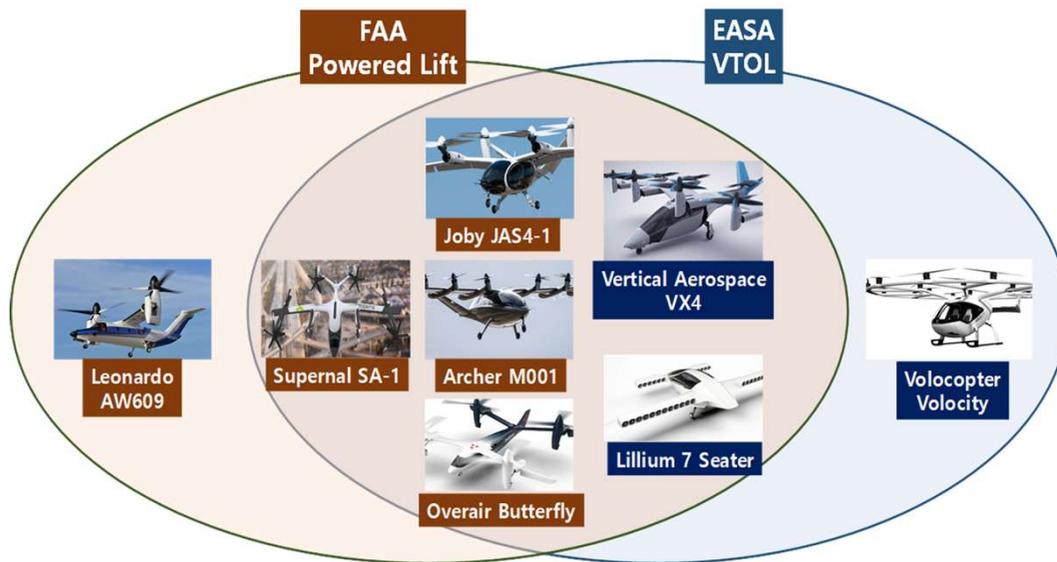


향후 전망

- 양대 인증 정책의 Harmonization 예상
- Power reserve (30 minutes VFR), Dual power control for training 등 요건 완화 예상

AAM 인증

해외 AAM 항공기 분류 및 인증기준 마련 동향



Powered-Lift Aircraft (14 CFR 1.1, 1997. 4)

A heavier-than-air aircraft capable of vertical take-off, vertical landing and low speed flight that depends principally on engine-driven lift devices or engine thrust for lift during these flight regimes and on nonrotating airfoil for lift during horizontal flight

AAM 인증

K-UAM 인증기준 안내서 마련

- 우리나라 법령 보완 기반 인증기준(Certification Basis) 수립
- UAM 상용화 대비, 항공기 인증기준 마련을 위한 협의체* 운영으로 도심형항공기에 특화된 인증기준안내서 발행 ('23. 12)
- 인증기준 : 도심형항공기를 “Powered-lift”로 분류, 인증을 위한 적용기준* 마련

* 적용기준 구성 : 기존요건(Part 23/33/35 등) 77항목, 신설 요건 74항목 (총 151항목)

- 미국 FAA 방안 (Part 21.17(b)) 기반으로 설정 : 항공기기술기준(KAS/FAR)에서 발췌
- 필요시, 미국/유럽 인증기준(안) 모두 표기

구분	미국 (FAA)	유럽 (EASA)	한국 (KOCA)
항공기분류	Powered-Lift	VTOL Capable Aircraft	Powered-Lift [& Wingless]
감항분류	Special Class	Basic Category, Enhance Category	Special Class (?)
감항기준	대표 기준 없음 * 21.17(b) 기반 기존 기술기준 조합, 인증신청 항공기 모델별 인증기준수립 * “Case by Case 방식”	SC-VTOL(신설 임시기준) * SC-VTOL을 기반으로 인증신청 항공기 인증기준 수립 * 향후 CS-VTOL (정식)	대표 기준 없음 * 21.17(b)에 따라 기존 기술기준 조합, 인증신청 항공기 모델별 인증기준수립 * eVTOL 형상별 개략적 가이드라인 제시, 인증기준 수립절차/기간 최소화



분야	구성요소
항공기	기체, 엔진, 부품/소재와 인증
운항체계	운항사/자(Operator)와 인증
	항로/회랑(Corridor)
	비행방식/규칙
	UAM교통관리서비스/제공자
	운항지원정보서비스/제공자
버티포트	버티포트(Vertiport)
	보안설비
	항행안전지원시설
	버티포트 운영자
종사자	교육/훈련
	조종사/정비사
환경	소음
	시각공해

AAM 인증

K-UAM 인증기준 안내서 개선 방향

- 항공기 분류 : ICAO 및 한-미 항공안전협정(BASA) 대응 위한 분류체계 마련
 - 파워드리프트(Powered-Lift) 및 멀티로터(Multi-Rotorcraft) 검토 필요



파워드리프트 (Powered-lift)



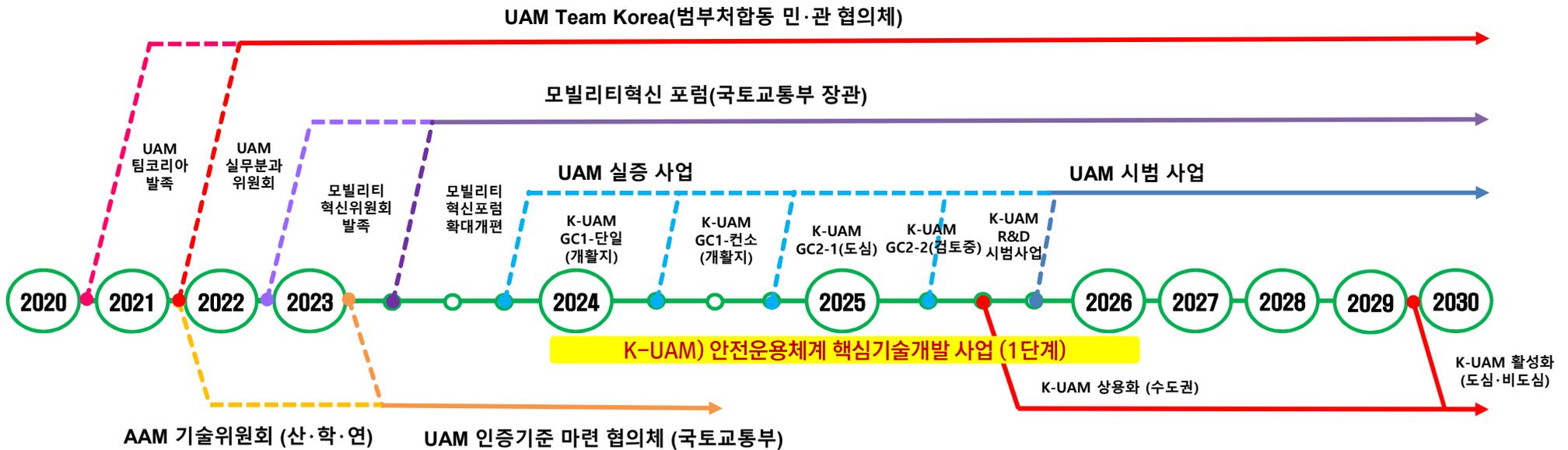
멀티로터 (Multi-rotorcraft)

- 국제 조화 : 해외 감항요건 활용하되, 국내 인증체계에 가장 부합하고 다양한 기체 형상을 수용
 - FAA Advisory Circular (AC No 21.17-4) : Type Certification - Powered-lift (Draft)
 - 산업계에서 활용 할 수 있는 최소한의 감항요건 제공, 핵심기술 및 안전성 고려한 규제/기준 마련

AAM 인증

AAM 안전 운항을 위한 인증 제도 구축

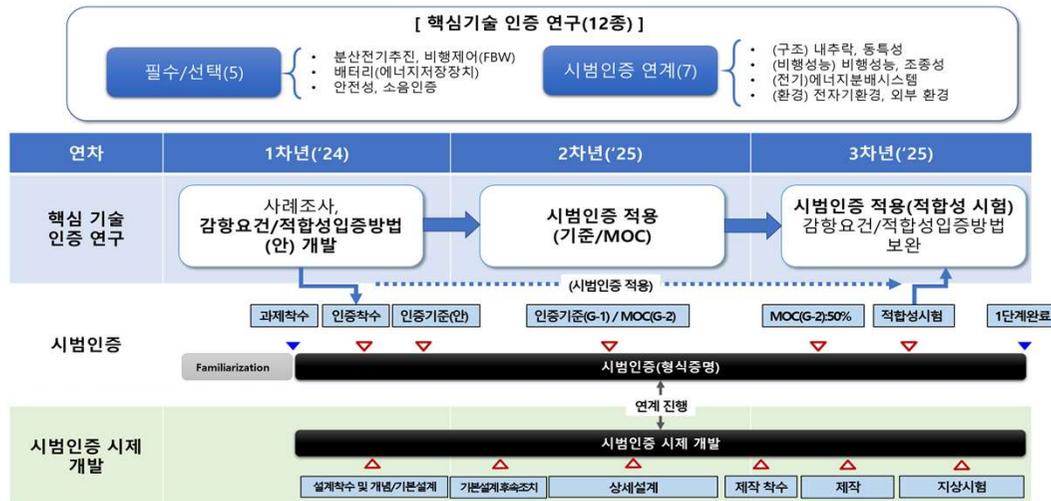
- 안전인증 체계 연구 및 통합 실증 추진 (국토부 UAM 예타 사업 연계)
 - 국토부 K-UAM Grand Challenge와 안전운용 핵심기술 개발사업 연계
 - eVTOL 항공기 시범인증을 통한 UAM 항공기 인증체계 개발
 - UAM 특화 항행안전시설 및 버티포트 인프라 (보안, 충전시설 등) 안전성 인증체계 개발



AAM 인증

UAM 항공기 시범인증 및 인증체계 개발 [3-1과제]

- 연구목표** : 우리나라 UAM 항공기 인증체계 개발
 - 세계 7위권 UAM 항공기 인증 국가 진입 - 일본, 중국 포함 전세계 6개 국가 UAM 항공기 인증체계 구축 및 이행 중
- 연구기간/예산** : (1단계) 2024.06.01~2026.12.31(2년 7개월) / 401.9억원(기업분담금 63억원 포함)
 (2단계) 2027년부터 진행예정 ← 세부내용 기획 중
- 연구절차** : 형식증명(Type Certification) 인증과제 수행을 통한 연구 성과물(1단계, 부품/부체계 수준) 확인/점검 추진



• 시제기 핵심요소 설계

핵심요소 설계

UAM Airframe Type vs UAM Motor Type

UAM Airframe Type: UAM Motor Type

UAM Airframe Type: UAM Motor Type

UAM Airframe Type: UAM Motor Type

• 전기엔진 시제 개발, 적합성인증

전기엔진 시제 제작

Evolve Motor, Magnon alica, Veronte, UTS

[UAM용 모터(준비된) 예]

• 전기추진시스템 아이언버드 개발 및 수행 방안 연구

DEP 시스템 시험 연구

Iron Bird 구조 설계/제작, Control Surface 구성, 배터리 및 Battery Pack 구성, Wing 구조 및 Sensor 구성

• 시제기 소음 적합성 연구 및 CCL 작성 /개발자 인증엔지니어 운영 등

소음 적합성

시범인증 시제 CCL/개발자 인증엔지니어 운영

*CCL(Compliance Checklist)

AAM 인증

K-UAM 항공기 인증을 위한 국제협력 계획

- ICAO AAM Study Group (제 41차 ICAO총회)
 - AAM 생태계 발전을 위해 국제적으로 조화된 프레임워크와 규정/지침 마련 필요성 인식
 - AAM Study Group 설립 : 종합적인 비전과 프레임워크 개발
- FAA-Asia Pacific Bilateral Partners Dialogue Meeting
 - 감항당국 간 항공안전 관련 정보공유 및 기술협의 목적으로 매년 개최
 - 미국과 BASA 체결국인 대한민국, 중국, 일본, 호주 등 총 12개국 참여
 - AAM 워킹그룹, UC 워킹그룹 운영 중 (*UC : Unmanned Certification)
- EU-ROK Aviation Partnership Project
 - EU-한국 감항당국과 항공 산업계 참여
 - 민간항공분야 기술교류 및 항공안전 강화 위한 협력 프로젝트 추진



ICAO AAM Study Group



제24회 FAA-아태지역 BASA회의



제언

- **AAM : 국내 모빌리티 혁신과 항공산업 발전의 획기적인 기회**
- **안전성 확보는 AAM 성공의 핵심 요소**
 - 항공기 안전성과 도심 운용 안전성 모두 중요
 - 경제성과 사회적 수용성을 고려한 안전성 최적화 필요
- **인증 기술**
 - 핵심 기술과 안전성은 지속적으로 점진적 진화
 - 감항인증 기술도 지속적인 진화 필요
- **AAM 인증 기준 확립 시급**
 - eVTOL 감항 인증, 운항 증명, 조종사 자격 등 기준 수립
- **생태계 협력체계 구축 및 정보 공유**
 - 범부처, 지자체, 산업체 (운용, 생산) 협력 중요
 - 국제협력을 통한 규제 호환성 필수
- **AAM은 마라톤 경주 : 장기적인 발전 전략 수립 필수**



하늘, 사람, 미래를 생각하는 항공안전 전문기관

항공안전기술을 위한 가치창조!

KIAST 항공안전기술원이 선도하겠습니다.

감사합니다

KIAST